

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①① N° de publication :

2.122.741

(A utiliser que pour
le classement et les
commandes de reproduction.)

②① N° d'enregistrement national

71.02012

(A utiliser pour les paiements d'annuités,
les demandes de copies officielles et toutes
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

①⑤ BREVET D'INVENTION

PREMIÈRE ET UNIQUE
PUBLICATION

②② Date de dépôt 21 janvier 1971, à 16 h 30 mn.
Date de la décision de délivrance..... 7 août 1972.
Publication de la délivrance..... B.O.P.I. — «Listes» n. 35 du 1-9-1972.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.) H 01 v 11/00.

⑦① Déposant : Société anonyme dite : COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ, résidant
en France.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Georges Kodratoff.

⑤④ Cryocâble.

⑦② Invention de : Marcel Aupoix et François Moisson-Franckhauser.

③③ ③② ③① Priorité conventionnelle :

La présente invention concerne les cryocâbles.

Il est connu de réaliser des cryocâbles pouvant transporter des courants continus ou alternatifs (monophasé ou polyphasé). Parmi ces cryocâbles, l'un d'eux comporte un conduit central généralement en matériau isolant, ce conduit permettant la circulation d'un fluide cryogénique. Une première nappe d'un métal conducteur entoure ce conduit central, cette nappe étant elle-même entourée d'une deuxième nappe d'un matériau supraconducteur. Une nappe isolante entoure les deux nappes précédentes et la même structure étagée se répète coaxialement. Un autre conduit assurant la circulation d'un fluide cryogénique entoure ces structures étagées coaxiales. C'est par exemple le cas d'un "câble électrique" décrit dans la demande de brevet français N° 131 779 du 11 décembre 1967., au nom de la Compagnie Générale d'Electricité.

Dans les cryocâbles connus, on a particulièrement recherché l'élimination de contraintes mécaniques pouvant s'exercer au niveau des différentes nappes lors de leur mise en froid dans un fluide cryogénique. Ces contraintes mécaniques sont radiales et longitudinales.

Une condition particulièrement importante pour les cryocâbles, est d'éviter que le champ magnétique engendré par le passage du courant dans la nappe supraconductrice d'une structure, telle que décrite précédemment, ne vienne perturber la nappe conductrice voisine, en y créant des champs magnétiques induits. Ces champs induits provoquent une élévation de température du cryocâble, la consommation de fluide cryogénique est accrue, il y a dès lors des risques de blocage de la nappe supraconductrice. C'est l'un des inconvénients des cryocâbles connus.

Dans de tels cryocâbles, la nappe de matériau supraconducteur est constituée de rubans juxtaposés, bobinés en hélice. Généralement, pour deux structures étagées successives, les nappes supraconductrices sont parcourues par des courants égaux et de sens contraire. La pénétration du champ magnétique dans la nappe conductrice voisine a lieu, si les hélices des nappes supraconductrices sont de pas différent, ou si ces nappes sont irrégulières, ou par exemple sont constituées de bobinages à spires non jointives.

Une autre structure de cryocâble connu comporte une nappe supraconductrice déposée sur un matériau cryorésistif. La résistance électrique et thermique de cette structure doit être aussi faible que possible afin de permettre la stabilisation du conducteur composite ainsi formé. Lors de la transition de la nappe de supraconducteur vers l'état normal ou bloqué, le courant va passer dans la nappe cryorésistive. Une telle structure est de réalisation délicate et présente l'inconvénient de ne limiter le blocage de la nappe supraconductrice qu'à une région de faible étendue, ce qui peut provoquer des détériorations par effet thermique, et de plus, s'opposer localement au retour de la nappe de supraconducteur vers son état initial de supraconduction.

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients relatifs aux cryocâbles décrits précédemment, et elle a pour objet, un cryocâble constitué d'une structure qui comporte, des moyens de refroidissement d'une première nappe d'un matériau conducteur, d'une deuxième nappe d'un matériau supraconducteur, caractérisé par le fait qu'il comporte des moyens pour assurer le contact électrique entre les première et deuxième nappes, et un matériau de grande résistivité électrique, interposé entre lesdites première et deuxième nappes.

A titre purement illustratif et nullement limitatif, un exemple de mise en oeuvre d'un cryocâble selon l'invention va être décrit avec des figures
10 schématiques à l'appui.

La figure 1 représente en perspective et en coupe étagée, une vue schématique d'un cryocâble selon l'invention.

La figure 2 représente une vue schématique en coupe longitudinale du cryocâble précédent.

15 Les éléments qui se correspondent sur ces deux figures portent les mêmes références.

La figure 1 représente en perspective et en coupe étagée un cryocâble qui est constitué, d'une structure intérieure 1 coaxiale, qui comporte :

- un conduit central 2, dans l'axe de la structure intérieure, assurant la
20 circulation d'un fluide cryogénique. Ce conduit central peut être par exemple réalisé en matériau synthétique isolant perforé.

- une première nappe 3 d'un matériau conducteur constituée de rubans épais d'aluminium ou de cuivre cryorésistif bobinés en hélice autour du conduit central 2,

25 - une deuxième nappe d'un matériau supraconducteur 4 constituée de rubans de niobium bobinés en hélice autour de la première nappe, ces hélices ayant un sens de bobinage inverse du sens de bobinage des hélices de la première nappe,

- un matériau 5, de grande résistivité électrique notamment, à basse température (aussi appelé cryorésistif) interposé entre les première et deuxième nappes.
30 Ce matériau est interposé entre les deux nappes sous la forme d'un fil ou jonc de section importante, bobiné en hélice à spires non jointives sur la première nappe 3 de matériau conducteur.

L'épaisseur de ce jonc est au moins égale à celle de la nappe de matériau supraconducteur.

35 Le cryocâble est constitué en outre d'une structure externe 7 coaxiale, séparée de la structure interne, par exemple, par un rubanage épais de polyéthylène, isolant électriquement les structures interne et externe.

Cette structure externe comporte :

- une première nappe d'un matériau supraconducteur 8, constituée par exemple,
40 de rubans de niobium bobinés en hélice autour du rubanage épais et isolant 8,

- un jonc de grande résistivité électrique 10 qui, comme dans le cas de la première structure est un fil de section importante, bobiné en hélice à spires non jointives autour de la première nappe,
- une deuxième nappe 11 d'un matériau conducteur qui est constituée de rubans épais d'aluminium, bobiné en hélice autour du jonc 10,
- un autre conduit 12 assurant une circulation d'un fluide cryogénique autour des deux structures coaxiales.

Il a été en outre représenté sur cette figure un ruban large 14 bobiné en hélice sur le conduit central 2. Ce ruban peut être en cuivre, il est destiné à
10 favoriser les échanges thermiques entre le fluide cryogénique circulant dans le conduit central et la première nappe d'aluminium. Ce conduit central est muni de gorges 16 et de percées 17, destinées à permettre la propagation du fluide cryogénique jusqu'à la deuxième nappe de matériau supraconducteur. Le fluide cryogénique parvient jusqu'à cette deuxième nappe à travers les percées 17 et à travers
15 les espacements des hélices de la première nappe de matériau conducteur 3.

Le jonc isolant 10 est bobiné en hélices à spires très espacées, ce qui permet au fluide cryogénique de circuler facilement entre les premières nappes 3 et deuxième nappe 4, et ainsi d'être en contact direct avec cette deuxième nappe de matériau supraconducteur. L'isolant 8, isole électriquement les première et deu-
20 xième structures il est enrubané en couches superposées.

La structure externe est munie d'un ruban large 15 de cuivre, en contact avec la deuxième nappe de matériau conducteur 11, ce ruban bobiné en hélice favorise les échanges thermiques entre le fluide cryogénique circulant en 18 dans le conduit 12 et la nappe 11 conductrice. Comme dans le cas de la première structure,
25 le fluide cryogénique atteint facilement la première nappe de supraconducteur 9 et circule facilement entre les première nappe 9 et deuxième nappe 11, grâce au jonc 10 bobiné en hélice à spires très espacées.

Il est bien évident que les rubanages 14 et 15 destinés à favoriser les échanges thermiques peuvent être supprimés.

30 Le jonc 10 joue un rôle important dans chacune des structures. Il permet la présence du fluide cryogénique entre les nappes cryorésistives et supraconductrices. Il éloigne ces deux nappes de manière à éviter que le champ de fuite dû aux petits espacements entre rubans de matériau supraconducteur, n'atteigne la nappe de matériau conducteur, ce qui produirait un échauffement trop important
35 de cette nappe. Son rôle principal est de conditionner la répartition du courant entre nappes lors de la perte éventuelle de l'état supraconducteur et d'associer un procédé de détection permettant une protection efficace du cryocâble.

Les nappes de matériau conducteur 3 et 11 des structures interne et externe sont rubanées en hélices de sens différents, de pas différents, mais sensiblement
40 de même angle par rapport à l'axe du cryocâble. Ceci a pour but d'éviter les con-

traîntes mécaniques axiales et radiales s'exerçant entre les structures, lors de la mise en froid du cryocâble. De plus, cette disposition évite qu'un couple de torsion important ne détériore le cryocâble lors de son enroulement sur un touret pour son transport et sa dépose sur le terrain. Les rubans d'aluminium de la
5 première nappe et de supraconducteur de la deuxième nappe ont été, dans le même but, choisis d'épaisseur assez importante.

Les rubans supraconducteurs sont bobinés en hélices de même pas et même sens, dans les deux structures afin de ne pas créer des champ magnétique au niveau de la nappe intérieure de matériau conducteur 3.

10 Cette disposition particulièrement avantageuse permet de réaliser un cryocâble de grande longueur (400 mètres par exemple) de longueur non variable lors de la mise en froid, et dont la structure n'est pas détériorée par des contraintes mécaniques dues à une variation thermique importante ou une déformation du cryocâble lorsqu'il est enroulé sur un touret.

15 Les avantages du cryocâble selon l'invention, apparaîtront à l'aide de la description de la figure 2 qui représente le cryocâble, en coupe schématique longitudinale.

Sur cette figure, il a été en outre représenté, des fils de connexion électrique 19, 20, 21, 22.

20 Selon une première variante de l'invention, les fils de connexion 19 et 20 sont connectés en certains points du jonc 5 de matériau de grande résistivité électrique de la première structure, les fils 21 et 22 étant connectés au jonc 10 de la deuxième structure.

Chaque tronçon de cryocâble ayant une longueur de 400 mètres, par exemple,
25 un fil de connexion est disposé à chaque extrémité du tronçon. Selon cette première variante de l'invention, le jonc est un fil de grande résistivité (100 ohm-centimètres environ, par exemple en polyéthylène chargé). Si la nappe supraconductrice se bloque, le courant va passer dans la nappe conductrice par l'intermédiaire du jonc de grande résistivité dont les spires sont en contact avec cha-
30 cune des deux nappes de conducteur et supraconducteur. Les fils de connexion qui viennent d'être décrits permettent en outre la détection du tronçon de cryocâble, qui est passé de l'état supraconducteur à l'état bloqué. Le courant dans chaque nappe dépend de l'abscisse de la région bloquée le long du tronçon.

Selon une deuxième variante de l'invention, le matériau de grande résistivité qui constitue le jonc est un isolant électrique. Le contact électrique est
35 établi seulement en certains points le long du tronçon de cryocâble considéré. Par exemple, aux points 23 et 24 pour la structure interne et aux points 25 et 26 pour la structure externe.

On dispose des fils de détection 19, 20, 21 22 comme précédemment pour détec-
40 ter le blocage des nappes de supraconducteur. Lors du blocage de la nappe de su-

praconducteur, le courant passe dans la nappe de conducteur par l'intermédiaire des contacts tels que 23, 24, 25, 26. Ces fils de détection sont entourés d'une gaine de plomb et débouchent par exemple dans le conduit intérieur 2 pour la structure interne, et dans le conduit externe 12 pour la structure externe.

5 Les fils de connexion permettent le contrôle permanent du bon fonctionnement du cryocâble. Tout incident qui entraîne une perte locale de l'état supraconducteur de la nappe supraconductrice, se traduit par un échauffement lent de cette nappe. Les fils de connexion qui permettent la détection de cet incident permettent en outre de protéger le cryocâble au moyen de disjoncteurs ayant une vitesse
10 de fonctionnement assez faible. Lors d'un blocage, et selon la première variante de l'invention, le courant traverse la nappe conductrice sur une longueur de 200 mètres, de part et d'autre de la région bloquée, si l'on considère des tronçons de 400 mètres de longueur. Cette disposition particulièrement avantageuse permet de réduire rapidement l'intensité du courant dans la nappe de supraconducteur au
15 niveau de la région bloquée de la nappe supraconductrice, et donc d'éviter la détérioration de cette région. Il est à remarquer que lors d'un blocage, l'impédance de la nappe supraconductrice est supérieure à celle de la nappe conductrice ou cryorésistive.

La chute de tension créée par le passage du courant dans la nappe conductrice
20 ce, sur quelques centaines de mètres, permet de détecter le blocage.

Les fils de connexion permettent aussi de détecter la présence d'un champ magnétique dans l'espace compris entre la nappe conductrice et la nappe supraconductrice. Ce champ magnétique apparaît par suite du blocage de la nappe supraconductrice. Une tension induite apparaît entre les points 23 et 24 ou entre les
25 points 25 et 26. La localisation de la région bloquée se fait par comparaison des tensions aux extrémités des fils de connexion de différents tronçons voisins.

Selon la deuxième variante de l'invention, le jonc de grande résistivité est un isolant électrique. Le contact électrique est établi à intervalles réguliers entre nappes conductrice et supraconductrice, par exemple à l'extrémité de chaque
30 tronçon, tous les 400 mètres. La détection du blocage s'effectue de la même manière que dans la première variante, mais le courant dans chaque nappe ne dépend pas de l'abscisse de la région bloquée le long du tronçon.

Il est bien évident que le nombre de points de connexion qui a été choisi égal à deux pour chaque structure d'un tronçon de 400 mètres peut être plus
35 élevé.

Il est bien évident aussi que les figures schématiques qui viennent d'être décrites ne sont qu'un exemple de mise en œuvre d'un cryocâble selon l'invention. Un matériau aurait pu être remplacé par un autre matériau, sans sortir du cadre de l'invention. Le cryocâble et son système de détection associé décrits dans le
40 cas d'un courant alternatif peuvent être utilisés en courant continu.

REVENDEICATIONS

- 1/ - Cryocâble constitué d'une structure qui comporte, des moyens de refroidissement, d'une première nappe d'un matériau conducteur, d'une deuxième nappe d'un matériau supraconducteur, caractérisé par le fait qu'il comporte des moyens pour assurer le contact électrique entre les première et deuxième nappes, et un
5 matériau de grande résistivité électrique, interposé entre lesdites première et deuxième nappes.
- 2/ - Cryocâble selon la revendication 1, caractérisé par le fait que ledit matériau de grande résistivité est interposé de façon discontinue entre lesdites première et deuxième nappes.
- 10 3/ - Cryocâble selon la revendication 2, dans lequel lesdites nappes sont disposées coaxialement, caractérisé par le fait que ledit matériau de grande résistivité est interposé entre lesdites première et deuxième nappes sous la forme d'un jonc rubané en hélice sur ladite première nappe.
- 4/ - Cryocâble selon la revendication 3 caractérisé par le fait que lesdits
15 moyens pour assurer le contact électrique sont incorporés audit matériau de grande résistivité en contact d'une part avec ladite première nappe, d'autre part avec ladite deuxième nappe.
- 5/ - Cryocâble selon la revendication 3 caractérisé par le fait que ledit matériau de grande résistivité est un isolant électrique, lesdits moyens pour assurer le
20 contact électrique étant des connexions réalisées seulement par endroits entre lesdites première et deuxième nappes.
- 6/ - Cryocâble selon l'une des revendications 4 et 5, caractérisé par le fait qu'il comporte une structure intérieure et une structure extérieure, lesdites structures intérieure et extérieure étant coaxiales l'une à l'autre, ladite structure intérieure étant séparée de ladite structure extérieure par un isolant électrique,
25 deux conduits aptes à véhiculer un fluide cryogénique, l'un autour de ladite structure extérieure, l'autre dans l'axe de ladite structure intérieure, lesdites nappes de matériau supraconducteur étant situées entre lesdites nappes de matériau conducteur.
- 30 7/ - Cryocâble selon la revendication 6, caractérisé par le fait que lesdites deuxième nappes desdites structures intérieure et extérieure sont disposées en hélice de même pas et de même sens.
- 8/ - Cryocâble selon la revendication 7, caractérisé par le fait que ledit jonc rubané en hélice a une épaisseur au moins égale à celle de ladite deuxième nappe
35 de matériau supraconducteur.
- 9/ - Cryocâble selon la revendication 8, caractérisé par le fait que ledit isolant séparant lesdites structures intérieure et extérieure est un polyéthylène.

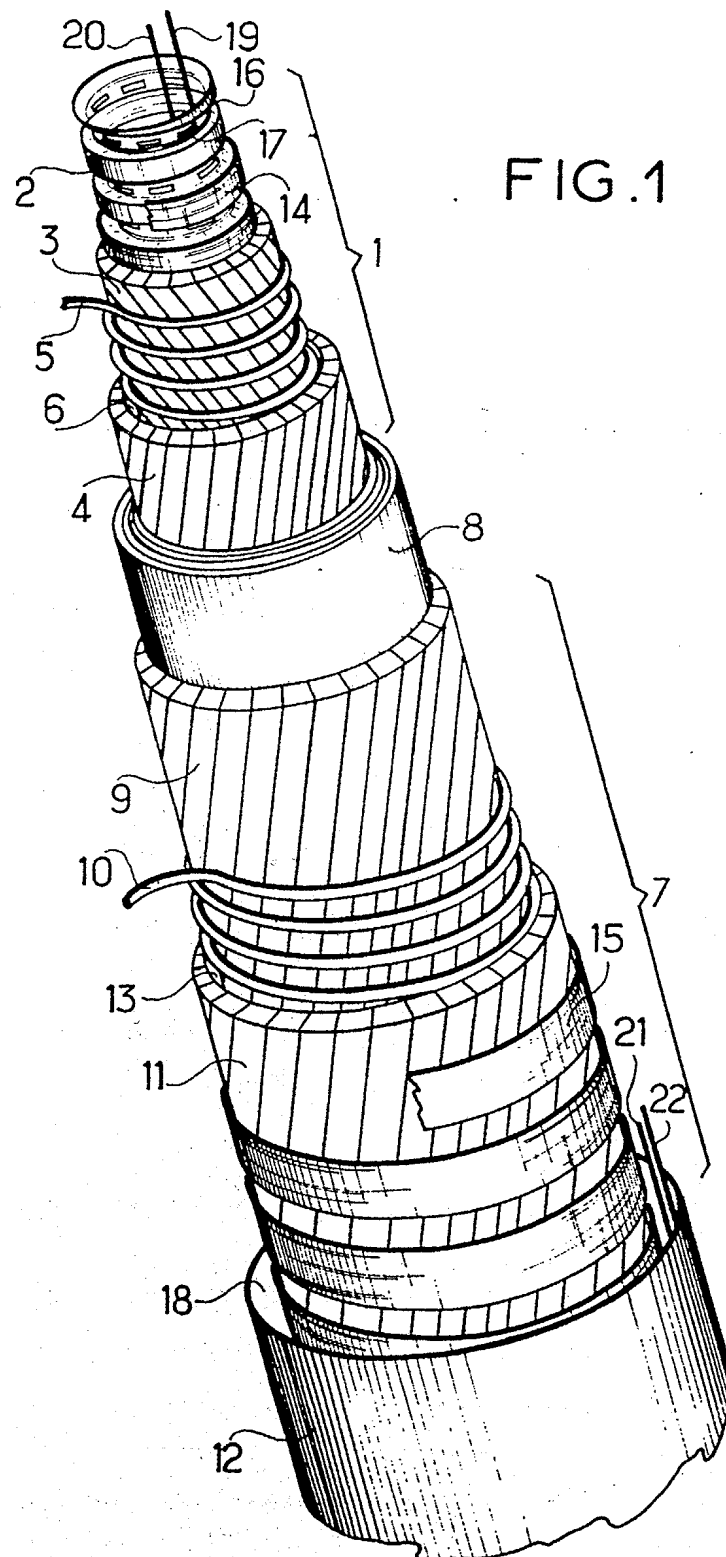


FIG. 2

